

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DEL ALGODÓN

DETERMINATION OF WATER FOOTPRINT OF COTTON



¹Oscar D. Díaz Fonseca, ²Juan A. Lizarazo Ariza, ³Jesús A. Torres Ortega

Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia

¹oddf64@unisalle.edu.co

²ljuan29@unisalle.edu.co

³jatorres@unisalle.edu.co

Recibido: 24/07/2015 • Aprobado: 15/09/2016

RESUMEN

La huella hídrica es un indicador en el ámbito mundial por ser la principal herramienta para identificar de manera cuantitativa la relación del hombre con el agua, y sus posibles impactos sobre el recurso hídrico. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de determinar la huella hídrica del cultivo de algodón en un predio del municipio de Natagaima localizado en el departamento de Tolima. Se optó por una metodología cualitativa y cuantitativa, seccionada en tres fases, con el fin de determinar la presión ejercida sobre el recurso hídrico debido a la actividad agrícola del cultivo de algodón. La primera fase consistió en el diagnóstico de los ciclos de consumo de agua en el proceso productivo del cultivo de algodón. En la segunda fase, mediante la simulación del programa CropWat 8.0, se calculó la huella hídrica total (azul, verde y gris) del cultivo de algodón teniendo en cuenta los datos de la estación meteorológica Anchique, facilitados por el IDEAM. Y, por último, en la fase 3, se realizaron los respectivos análisis, para así reconocer los procesos antrópicos que afectan en cada tipo de huella las actividades agrarias para un cultivo de algodón. Se propuso la implementación del sistema de riego para la compensación hídrica del cultivo de algodón en las épocas más críticas, recomendando el sistema de riego por goteo por tener este un mayor rendimiento y ser más eficiente en la distribución del agua con mínimos costos de inversión, lo que genera mayor cobertura al campo de cultivo de algodón.

Palabras clave: agua, azul, gris, hídrica, lluvia verde, virtual.

ABSTRACT

The water footprint is a reference indicator worldwide to be the main tool to identify quantitatively the relationship between man and water and its potential impacts on the water resource. This research was conducted with the objective of determining the water footprint of cotton growing in an area of the municipality of Natagaima, located in the department of Tolima.

It was decided in favor of a qualitative and quantitative methodology, sectioned in three phases in order to determine the pressure on the water resource due to the agricultural activity of cotton cultivation. The first phase consisted in the diagnosis of the cycles of water consumption in the production process of cotton

growing. In the second phase, through the simulation of the program CropWat 8.0, it was calculated the water footprint total (blue, green and gray) of cotton growing taking into account the data from the weather station Anchique, facilitated by the Ideam. And finally, in phase 3, the respective analyses were performed to thus recognize the anthropic processes that affect agricultural work for a cotton crop in each type of footprint. It was proposed the implementation of an irrigation system for the compensation of water of cotton cultivation in the most critical times, recommending the drip irrigation system for its greater performance and efficiency in the distribution of water with minimal investment costs, and which provides greater coverage to the field of cotton crop.

Keywords: blue, gray, green, hydric, rain, virtual, water.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca determinar la huella hídrica para el cultivo de algodón en un predio del municipio de Natagaima, uno de los 48 municipios del departamento de Tolima (Colombia), al cual se llega partiendo de la Capital del departamento, rumbo al Sureste, por la vía que conduce a la ciudad de Bogotá, hasta el municipio de El Espinal, donde se encuentra la vía pavimentada que conduce a Neiva en dirección Sur, pasando por las localidades de Guamo, Saldaña, Castilla, hasta llegar a su cabecera municipal, en un trayecto de 118 Km [1]. El municipio de Natagaima tiene un área de 86.683 hectáreas aproximadamente, de las cuales 196,32 Ha (hectárea) corresponden al casco urbano, 118.52 Ha a los centros poblados rurales, 2.454 Ha a los cuerpos de agua y las restantes 83.914,16 Ha al sector rural; adicionalmente, los cuerpos de agua con gran relevancia al municipio son el río Magdalena y la quebrada Naturco.

Para el estudio en mención, se realizó el diagnóstico hídrico en todo el proceso del cultivo y se establecieron cada una de las huellas hídricas correspondientes a la lluvia, la usada para disolver los agroquímicos y la tomada de aguas superficiales; igualmente, se estableció la huella hídrica total (sumatoria de las huellas verde, azul y gris) del periodo del cultivo de algodón.

Con los resultados obtenidos para la huella hídrica total para el predio, se plantearon alternativas

que buscaban cumplir con la satisfacción hídrica del cultivo, además de un uso adecuado y sostenible del recurso hídrico. Se determinó que el 60% del requerimiento hídrico se satisface por las precipitaciones del lugar de estudio; sin embargo, el porcentaje restante se debe suplir mediante un sistema de riego para que el proceso productivo no se vea afectado [2].

El estudio de la huella hídrica del cultivo de algodón es un tópico novedoso ya que no se presenta ningún registro nacional de algún trabajo específico del mismo (Fig. 1).



Fig. 1 Cultivo de algodón [2]

Los métodos utilizados para la recopilación de datos sobre el proceso del cultivo de algodón fueron, por una parte, información primaria tomada directamente del campo y, por otra, recolección de

información secundaria, particularmente sobre la climatología del lugar de estudio, facilitada por una estación meteorológica del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) y datos teóricos de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Para el modelamiento, se ejecutó el software CropWat 8.0 propuesto por la FAO, el cual ayuda a determinar la evapotranspiración del cultivo de algodón, el requerimiento hídrico y el riego con base en la información climatológica.

II. MARCO TEÓRICO

El sector agrícola colombiano usa 16.760,33 millones de m³ equivalentes al 46,6% del total del volumen de agua que se utiliza en el país. El uso para generación de energía participa con el 21,5%; el sector pecuario, con el 8,5% y el uso doméstico, con el 8,3% [3]. El cálculo de la huella hídrica ha despertado el interés de los principales sectores económicos del país [4], [5].

Adicionalmente, en el país existen zonas de tradición algodонера, en donde un gran número de habitantes derivan su sustento de las labores que demanda el cultivo en forma directa. Por otra parte, en forma indirecta, el cultivo genera otras fuentes de ingreso: agroindustria, distribuidoras de insumos y transportadoras, entre otras, lo cual implica el uso del recurso hídrico [6]. Hoy en día, existen cerca de 4.200 agricultores algodonereros en Colombia, la mayoría de ellos organizados en cooperativas. La estructura agrícola es principalmente de pequeña escala y la mayoría de los cultivos se encuentran en campos alquilados [7].

La huella hídrica es un indicador que permite identificar las relaciones socio-ambientales respecto del agua; está orientado especialmente hacia las actividades socioeconómicas, razón por la cual, se presenta como el más importante factor de presión e impacto sobre los recursos naturales. La conceptualización de la huella hídrica ayuda a visualizar

el uso oculto del agua de diferentes productos y a comprender los efectos del consumo y el comercio frente al agua y su disponibilidad.

La huella hídrica de cualquier bien o servicio es el volumen de agua utilizado directa e indirectamente para su producción, sumados los consumos de todas las etapas de la cadena productiva. De esta forma, la huella hídrica de un individuo no está solo relacionada con su consumo directo de agua, sino con sus hábitos de vida.

Los tres componentes primordiales para el cálculo de la huella hídrica son: la huella hídrica verde, correspondiente al volumen de agua lluvia que se consume por la vegetación y no se convierte en escorrentía. Esta agua se almacena en los estratos superficiales del terreno satisfaciendo la demanda natural de la vegetación y los cultivos; la huella hídrica azul, que relaciona el volumen de agua dulce extraído de una fuente superficial o subterránea, y responde a un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia. El agua azul contiene conceptos implícitos de escasez y competencia por el recurso hídrico. Finalmente, la huella hídrica gris, entendida como el volumen de agua teórico necesario para lograr la dilución de un contaminante específico, de forma tal, que no altere la calidad del agua en el cuerpo receptor; no se refiere a generar un nuevo consumo, sino a reducir el volumen de contaminante.

CropWat 8.0 es un programa informático para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y las necesidades de riego con base en datos de suelo, clima y cultivos. Además, el programa permite el desarrollo de programas de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del esquema de suministro de agua para variar los patrones de cultivo. CropWat 8.0 también se puede utilizar para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y para estimar el rendimiento de los cultivos, tanto en condiciones de secado como de regadío. Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CropWat 8.0 se basan en [8] y [9].

Como punto de partida, y solo para ser utilizado cuando no se dispone de datos locales, el software CropWat 8.0 incluye datos sobre cultivos y suelo estándar. Cuando se dispone de datos locales, estos archivos de datos pueden ser fácilmente modificados, o nuevos pueden ser creados. Del mismo modo, si los datos climáticos locales no están disponibles, estos pueden ser obtenidos por más de 5.000 estaciones en todo el mundo, desde *ClimWat*, la base de datos climáticos asociados. El desarrollo de programas de riego en CropWat 8.0 se basa en un equilibrio suelo-agua al día con varias opciones definidas por el usuario para las condiciones de abastecimiento de agua y la gestión del riego [10].

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomó [11] como guía para la realización del cálculo de la huella hídrica del cultivo de algodón. Igualmente, para el desarrollo de esta investigación se implementaron tres fases que se describen a continuación:

A. Fase 1. Diagnóstico del cultivo

Esta fase permitió hacer una aproximación en el proceso productivo del cultivo de algodón y, por consiguiente, determinar en qué etapas se presenta o se involucra el recurso hídrico; la fase se dividió en las siguientes actividades:

- Efectuar una consulta, con el fin de identificar las características del algodón, como las generalidades, morfología, exigencias del cultivo y características tanto físicas como químicas del terreno para el desarrollo del mismo.

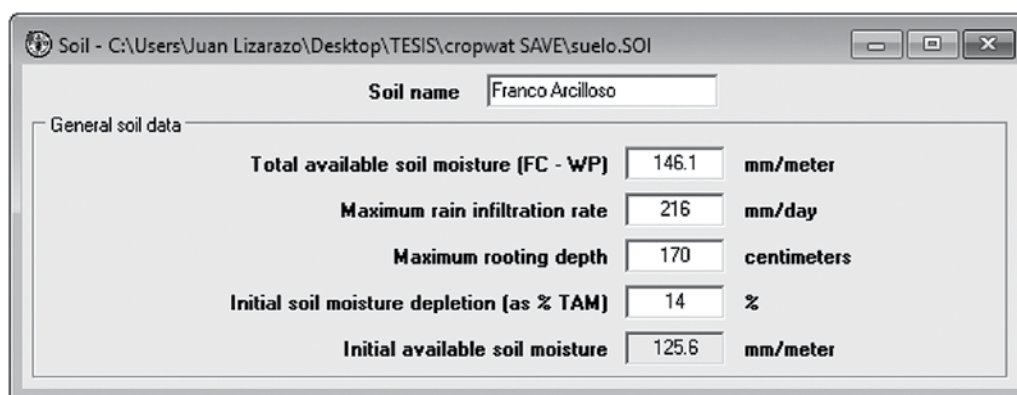
- Implementar una visita de campo para el reconocimiento de las etapas y actividades del cultivo de algodón, con el fin de obtener información de primera mano de la empresa, de tal forma, que fuera más precisa y concreta.

B. Fase 2. Determinación de la huella hídrica total con CropWat 8.0

Para la implementación de esta fase, se requirió la recopilación de información meteorológica, características de suelo y del cultivo. Esta información fue de gran relevancia para el cálculo de cada uno de los componentes de la huella hídrica y, adicionalmente, para la aplicación del software CropWat y posterior cálculo de la huella hídrica total. En esta fase la información se clasificó en varias categorías:

1) Información climatológica. Fue esencial hacer una solicitud al IDEAM para la información climatológica correspondiente. Sin embargo, se debió verificar que la información obtenida se encontrara en las mismas unidades y fuera compatibles con el software, ya que podían generar inconsistencias cuando se implementara; así mismo, todos los datos obtenidos fueron promedios mensuales de los parámetros requeridos, a excepción de la radiación solar, ya que estos datos se presentan como la suma mensual horaria.

2) Información del suelo. Según la información suministrada por el personal de la empresa cultivadora y por los estudios de suelos, el tipo de suelo predominante en el área es el franco-arcilloso; por lo tanto, este fue el que se usó para los cálculos requeridos como se muestra en la Fig. 2.



General soil data		
Total available soil moisture (FC - WP)	146.1	mm/meter
Maximum rain infiltration rate	216	mm/day
Maximum rooting depth	170	centimeters
Initial soil moisture depletion (as % TAM)	14	%
Initial available soil moisture	125.6	mm/meter

Fig. 2 Modelación suelo del programa CropWat 8.0 [2].

3) Información del cultivo. La información del cultivo fue proporcionada directamente por el personal de la empresa cultivadora [2].

C. Fase 3: Análisis de resultados

En esta fase, con los datos obtenidos de la modelación, se formularon alternativas de uso del recurso hídrico para un desarrollo sostenible de la actividad agrícola; así mismo se corroboró la demanda hídrica del cultivo.

IV. CADENA DEL CULTIVO DE ALGODÓN

A. Preparación del terreno y siembra

Se realizó una limpieza y adecuación del terreno, para extraer las raíces, los residuos vegetales o las malas hierbas; es decir, las que eran impropias del cultivo de algodón, y algunas semillas, que ya no generaban los resultados deseados en las plantas del algodón.

Después de limpiar el suelo, los cultivadores realizaron un pre-abonado, utilizando el fertilizante NPK triple 15 (en 100 kg de abono, contiene 15 kg de Nitrógeno, 15 kg de Fósforo y 15 Kg de Potasio). En la adecuación del terreno se utilizó el laboreo mecánico el cual favorece la estabilidad y estructuración del suelo, con lo que se mejora sus propiedades físicas (humedad, aireación, temperatura) y se aumenta la profundidad de enraizamiento.

Posteriormente, se formaron los surcos de manera mecánica con un tractor, y se procedió a realizar las labores de siembra. La semilla utilizada por la empresa fue la *Roundup Ready Flex Cotton*, la cual es una semilla modificada genéticamente producida por *Monsanto Company*. Esta semilla presenta los siguientes beneficios respecto de las semillas convencionales:

- Mayor flexibilidad en la gestión de las malas hierbas.
- Un sistema de control de malas hierbas de amplio espectro.
- Los costes laborales reducidos para los agricultores debido al menor pulverizador.
- Rociar sobre la parte superior más allá de la etapa de la cuarta hoja, lo que puede reducir la dependencia de los escudos o rociadores con campana.
- Mayor seguridad en los cultivos durante las etapas reproductivas de algodón sensible.
- Capacidad de adaptar las aplicaciones de herbicidas a altura de las malezas o etapa, en lugar de la etapa del desarrollo del algodón [12].

B. Etapa de crecimiento

Veinte días después de la siembra, cuando la planta alcanzó una altura aproximada de 15 cm., se realizó la adición del herbicida; para tal fin, se utilizó el herbicida *Roundup de Monsanto Company*. El ingrediente activo del producto es el Glifosato, el cual se desarrolla para controlar una amplia variedad de malas hierbas, hierbas y plantas de hoja ancha. Se suministra 2 Litros/Ha y requiere de 1 jornal/Ha [13].

Entre los 20 a 30 días se realizó la fertilización, utilizando nuevamente el compuesto NPK, importante para suplir las necesidades de las plantas. Este fertilizante contiene tanto nutrientes primarios como secundarios indispensables para el crecimiento óptimo del algodón; se utilizan 4 jornales para suministrar al suelo la dosis requerida del fertilizante, la cual es de 300 kg/Ha a 400 kg/Ha.

Luego de que la planta obtuvo una altura aproximada 1.20 metros, se acostumbra podar el cogollo para detener su crecimiento, con el fin de no afectar la calidad de las fibras; esto requirió de la aplicación de mayores cantidades de fertilizante.

D. Desmote del algodón

Aproximadamente, 180 días después de iniciada la siembra, se realizó la recolección de la cosecha, o el desmote del algodón, lo cual se puede hacer de forma mecánica o manual. Producto del desmote, se obtuvieron dos tipos de materia prima: la primera el algodón semilla, y la segunda la fibra de valor comercial.

La fibra se utiliza como materia prima para la elaboración de textiles y la semilla es comprada principalmente por industrias de aceites y grasas comestibles y, en segunda instancia, por fabricantes de concentrados para animales, empresas productoras de semillas y semilla para alimentación animal directa.

Así mismo, se pudo observar que la empresa no cuenta con ningún sistema de riego o método para proveer agua al cultivo, sino que se vale de las precipitaciones a lo largo del año, apoyándose en una estación agro meteorológica con la que cuenta desde el año 2013 para el monitoreo de las condiciones meteorológicas.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados arrojados por el software CropWat 8.0 dan un estimativo de la cantidad de agua azul o agua proveniente de una fuente superficial que puede cubrir los requerimientos de riego del cultivo de algodón en el predio de estudio, como se observa en la Fig. 3 [2].

El valor encontrado para la huella hídrica azul es de 749.5 . Este valor representa la cantidad de agua que demanda el cultivo desde el primer día de siembra hasta su recolección, sin considerar el agua proveniente de la precipitación, no obstante, teniendo en cuenta la situación actual del predio. Como se puede evidenciar, al no contar con una fuente de agua alterna para el riego, el cultivo de algodón se encuentra en un alto déficit hídrico.

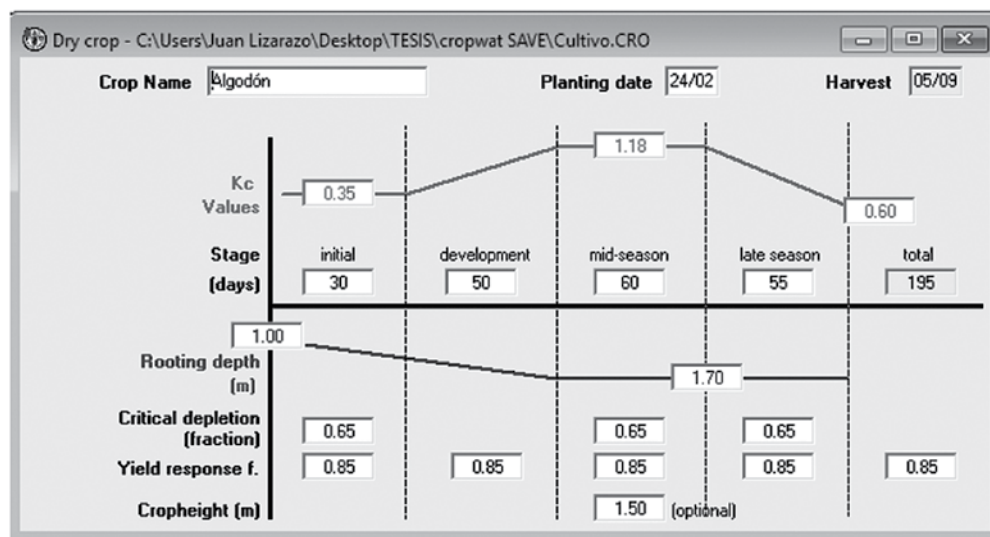


Fig. 3 Modelación de la subdivisión del cultivo del programa CropWat 8.0.

En la Fig. 4 se puede observar la carencia hídrica con un valor máximo de 35,5 mm/dec (década).

Mes	Década	Stage	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	3	Inic	4.0	10.9	4.0
Abr	1	Inic	13.3	43.0	0.0
Abr	2	Inic	13.3	45.5	0.0
Abr	3	Des	13.5	42.1	0.0
May	1	Des	18.1	39.0	0.0
May	2	Des	23.8	36.7	0.0
May	3	Des	32.7	29.9	2.8
Jun	1	Des	35.4	21.2	14.2
Jun	2	Med	40.2	14.2	26.0
Jun	3	Med	41.3	13.4	27.9
Jul	1	Med	41.5	13.0	28.5
Jul	2	Med	41.7	11.4	30.3
Jul	3	Med	46.6	11.1	35.5
Ago	1	Med	43.1	9.8	33.2
Ago	2	Fin	43.1	8.9	34.2
Ago	3	Fin	43.8	13.0	30.7
Sep	1	Fin	36.0	16.4	19.5
Sep	2	Fin	32.2	19.4	12.8
Sep	3	Fin	28.0	28.4	0.0
Oct	1	Fin	21.6	36.0	0.0
			613.2	463.2	299.8

Fig. 4 Déficit hídrico del cultivo.

Este comportamiento se observó desde finales de mayo hasta principios de septiembre, lo que conllevó a un desarrollo poco eficiente, reflejado en el crecimiento de las raíces, en el crecimiento de la planta y, por consiguiente, en la producción del algodón.

Con respecto a la huella hídrica verde, se observó un lapsus de tiempo en el que se presentaron valores altos al inicio; es decir, en la etapa de siembra. Pero, posteriormente, apareció un decrecimiento llegando a un punto mínimo de 8,9 mm/dec lo que reflejó que las precipitaciones no eran suficientes para suplir la demanda del cultivo de algodón como se observa en la Fig. 5, el valor obtenido para esta huella hídrica fue de $1158 \frac{m^3}{Ton}$.

Mes	Década	Stage	ETc	Prec. efec
			mm/dec	mm/dec
Mar	3	Inic	4.0	10.9
Abr	1	Inic	13.3	43.0
Abr	2	Inic	13.3	45.5
Abr	3	Des	13.5	42.1
May	1	Des	18.1	39.0
May	2	Des	23.8	36.7
May	3	Des	32.7	29.9
Jun	1	Des	35.4	21.2
Jun	2	Med	40.2	14.2
Jun	3	Med	41.3	13.4
Jul	1	Med	41.5	13.0
Jul	2	Med	41.7	11.4
Jul	3	Med	46.6	11.1
Ago	1	Med	43.1	9.8
Ago	2	Fin	43.1	8.9
Ago	3	Fin	43.8	13.0
Sep	1	Fin	36.0	16.4
Sep	2	Fin	32.2	19.4
Sep	3	Fin	28.0	28.4
Oct	1	Fin	21.6	36.0
			613.2	463.2

Fig. 5 Comportamiento de la precipitación efectiva.

Por último, en la huella hídrica gris se tuvieron en cuenta los dos productos más significativos e implementados: el compuesto NPK y el glifosato; el primero tuvo mayor relevancia ya que presenta una mayor demanda, la cual se orienta en el elemento del fósforo de $150 \frac{m^3}{Ton}$.

Al hablar de la huella hídrica total del estudio realizado, el resultado obtenido fue de $2057.5 \frac{m^3}{Ton}$, teniendo en cuenta que la huella azul se obtuvo del programa de simulación CropWat 8.0 y no del lugar de estudio; además, la huella hídrica con el mayor aporte a la total es la verde con un 56,28%, seguida de la azul con un 36,43% y, por consiguiente, la gris con el 7,29%. Cabe aclarar que estos datos son solo para el caso de estudio; pero, como no hay presencia de ningún mecanismo de riego, entonces, su huella hídrica total sería la sumatoria de la huella hídrica verde y la gris la cual es de $1308 \frac{m^3}{Ton}$.

$$H.H_{TOTAL} = H.H_{Azul} + H.H_{Verde} + H.H_{Gris}$$

$$H.H_{TOTAL} = 749.5 \frac{m^3}{Ton} + 1158 \frac{m^3}{Ton} + 150 \frac{m^3}{Ton}$$

$$H.H_{TOTAL} = 2057.5 \frac{m^3}{Ton}$$

CONCLUSIONES

El cultivo de algodón del predio en estudio posee una huella hídrica total ideal de 2057.5 m³/Ton para un tiempo de cosecha de 195 días; el componente más representativo fue la huella verde con un 56.28% (1158 m³/Ton), seguido del componente azul con un 36.43% (749.5 m³/Ton) y, finalmente, el componente gris con un 7.29% (150 m³/Ton).

La modelación realizada determinó que la mayor parte de los requerimientos de agua del cultivo de algodón se pueden satisfacer con agua lluvia en un 60%, teniendo en cuenta que el comportamiento del clima es bimodal y las respectivas modelaciones hacen constatar que en la época media del cultivo se presenta una mayor demanda del recurso hídrico y la decadencia de las precipitaciones.

En los cálculos realizados con respecto a la huella gris se pudo evidenciar que tuvo un mayor impacto el fertilizante usado que el mismo herbicida lo cual refuta el ideal que los herbicidas, pesticidas y demás son los que generan mayor impacto al medio ambiente y, en este caso, al recurso hídrico.

En modo de síntesis, es de gran relevancia la implementación de un sistema de riego para la satisfacción hídrica del cultivo de algodón en las épocas más críticas.

REFERENCIAS

- [1] Alcaldía Municipal de Natagaima Tolima, "Esquema de Ordenamiento Territorial Natagaima Tolima", Natagaima, Colombia, 2003.
- [2] O. Fonseca y J.A. Lizarazo, "Determinar la huella hídrica del cultivo de algodón (Gossypium) de la empresa Coagronat Ltda en el municipio Natagaima - Tolima". Trabajo de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2016.
- [3] IDEAM, "Estudio Nacional del Agua", Bogotá, Colombia, 2014.
- [4] E.A. Sánchez, J.R. Villarreal y J.A. Torres, "Estimación de la huella hídrica para un cultivo de Pitahaya Amarilla (*Selenicereus Megalanthus*)", *Publicaciones e Investigación*, Vol. 9: 13-24, 2015.
- [5] Y. Vanegas, L. Vera y J.A. Torres, "Evaluación de la Huella Hídrica del Lirio Japonés (*Hemerocallis*)", *Publicaciones e Investigación*, Vol. 8: 79-87, 2014.
- [6] ICA, "Manejo fitosanitario del cultivo de algodón", Bogotá, Colombia, 2012.
- [7] D. Arévalo, "Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica", Colombia, 2012.
- [8] L. Allen, R. Pereira, D. Raes y M. Smith, "Evapotranspiración del cultivo - Directrices para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos", Estudios FAO Riego y Drenaje No. 56, Roma, Italia, 2006.
- [9] J. Doorenbos y K.H. Kassam, "Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos", Estudios FAO, Serie Riego y Drenaje No. 33, FAO, Roma, Italia, 1986.
- [10] FAO (2015), "FAO Water", [Online] Available: http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- [11] A.Y. Hoekstra, A. Chapagain, M. Aldaya y M. Mekonnen, "The Water footprint assessment manual, setting the global standard" Earthscan. London, UK, 2011.
- [12] Monsanto Company (2015), [Online] Available: <http://www.monsanto.com/products/pages/genuity-roundup-ready-flex-cotton.aspx>
- [13] Monsanto Company (2015), [Online] Available: <http://www.monsanto.com/glyphosate/pages/default.aspx>

